

Hochgenau und flexibel: LIGO setzt Beckhoff-Steuerungsplattform zur Automatisierung seiner Laser-Interferometer ein.

Messung von Gravitationswellen bestätigt Albert Einsteins Relativitätstheorie

Ein Mitarbeiter des LIGO inspiziert einen Spiegel bevor die Kammer, in welcher der Laser-Interferometer untergebracht ist, versiegelt und unter Vakuum gesetzt wird.



Rund 100 Jahre nach der von Albert Einstein verfassten Allgemeinen Relativitätstheorie und seiner Vorhersage von Gravitationswellen konnten diese nun erstmals vom LIGO (Laser Interferometer Gravitation Wave Observatory) direkt nachgewiesen werden. Eine erste Aufzeichnung der Gravitationswellen gelang am 14. September 2015 auf Grund von Messungen, die die Detektoren des LIGO an den Standorten Hanford (Washington, USA) und Livingston (Louisiana, USA) durchgeführt hatten. Eine zweite Gravitationswellenmessung wurde am 26. Dezember 2015 aufgezeichnet.

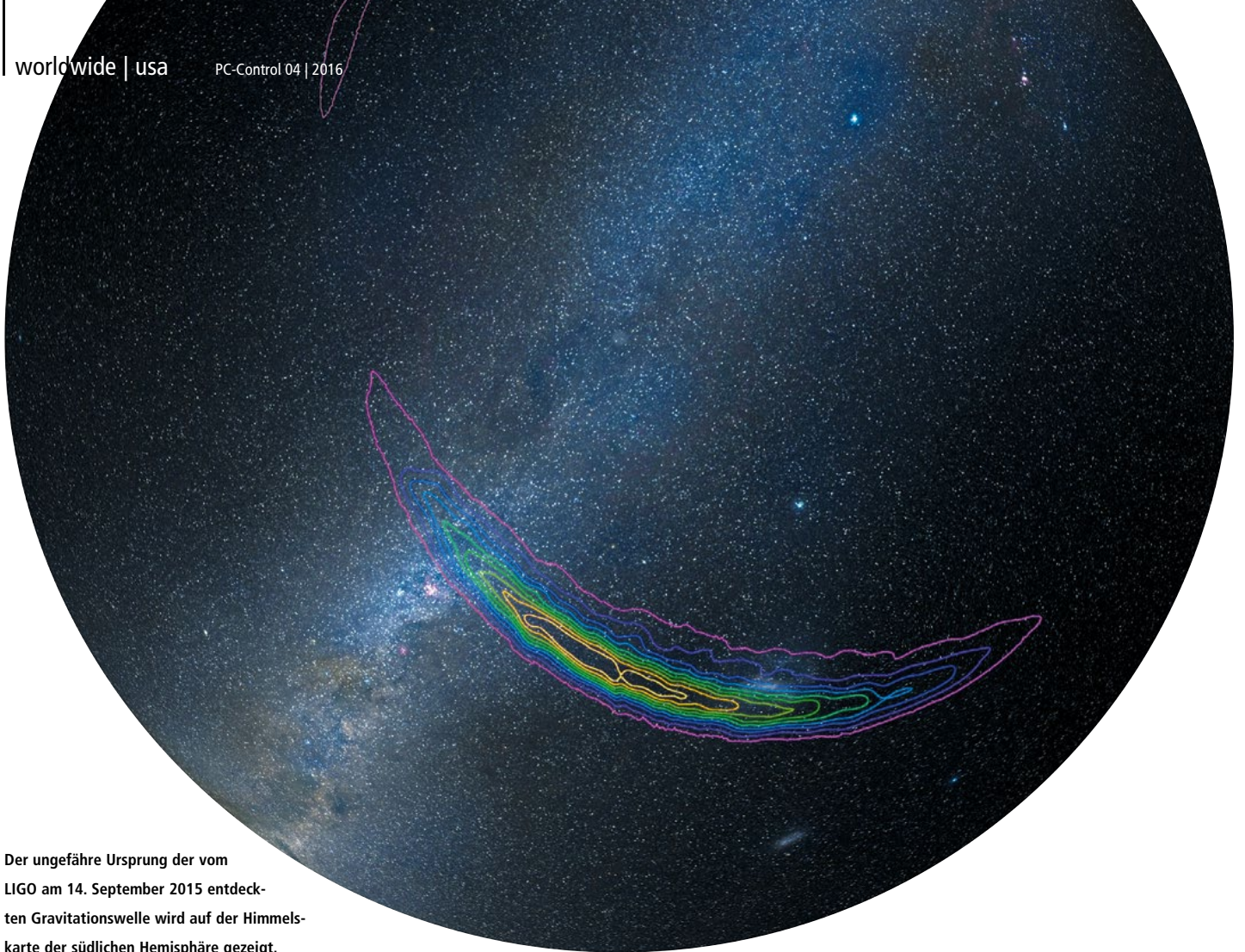
Gravitationswellen sind Kräuselungen der Raumzeit, die bei kosmischen Katastrophen ausgesendet werden – beispielsweise von explodierenden Sternen, verschmelzenden schwarzen Löchern oder Neutronensternen. Albert Einstein sagte die Existenz von Gravitationswellen bereits im Jahre 1916 voraus; doch erst jetzt gelang dem LIGO über hochempfindliche interferometrische Gravitationswellen-Detektoren ihre Beobachtung, bzw. Messung. Die Quelle dieser ersten aufgezeichneten Gravitationswelle stammt von der Kollision zweier Schwarzer Löcher, 29- und 36-mal so groß wie unsere Sonne, die sich in etwa 1,3 Milliarden Lichtjahren Entfernung ereignet haben dürfte. Die innerhalb

der letzten 100 Millisekunden vor der Fusion abgestrahlten Gravitationswellen waren stark genug, dass sie von den LIGO-Detektoren auf der Erde erfasst werden konnten.

PC- und EtherCAT-based Control überwacht ausgedehnte Forschungsanlagen

Im Rahmen der Forschungsarbeiten in den Hanford- und Livingston-Detektoren kommen PC-basierte Steuerungen und EtherCAT als Hochgeschwindigkeits-Kommunikationssystem zum Einsatz. Daniel Sigg und Richard McCarthy vom Standort Hanford sind zwei der Spezialisten, die die Implementierung der Automatisierungstechnik leiten. „Die PC-basierte Steuerungstechnologie wird für die servobasierte Lasersteuerung an den Endstationen der Interferometerarme eingesetzt“, erläutert Daniel Sigg. „Die L-förmigen Ultrahochvakuumssysteme in denen der Laser-Interferometer untergebracht ist, sind mit einer Schenkellänge von 2 km in Hanford bzw. 4 km in Livingston sehr ausgedehnt. Daher war die Fernsteuerung in den Anwendungen, wie z. B. die Servoregelung zur Stabilisierung der Laserfrequenzen, ein großes Thema. Zudem haben wir eine anspruchsvolle Datenerfassung auf der Basis von EtherCAT implementiert.“

Die Überwachung der Forschungsanlage ist eine der wichtigsten Aufgaben der PC-basierten Steuerung. Hierzu gehört auch die Zeitsteuerung der Verteilersysteme, die riesige Datenmengen für die Diagnose über RS232 oder RS485 über-



Der ungefähre Ursprung der vom LIGO am 14. September 2015 entdeckten Gravitationswelle wird auf der Himmelskarte der südlichen Hemisphäre gezeigt.

tragen und anschließend in das überlagerte EtherCAT-System weiterleiten. „Wir stellten fest, dass diese Aufgabe grundsätzlich auch mit herkömmlichen SPSen bewältigt werden kann, aber um das System zugunsten aller Projektbeteiligten zu vereinfachen, entschieden wir uns für die PC-basierte Steuerung“, erklärt Richard McCarthy. „Außerdem war das in der Vergangenheit vom LIGO verwendete Automatisierungs- und I/O-System nicht modular aufgebaut und daher nicht flexibel genug, um mit den regelmäßigen Systemaktualisierungen und -aufrüstungen Schritt halten zu können. In der wissenschaftlichen Forschung eingesetzte Ausrüstungskomponenten müssen häufig angepasst und optimiert werden, so dass die Flexibilität der Steuerungstechnik von entscheidender Bedeutung ist.“

Hohe Flexibilität bei der Programmierung mit TwinCAT 3

EtherCAT ist als durchgängiges Feldbussystem – von den I/Os, über die Sicherheitstechnik bis zu den Servomotoren – im Einsatz. Die LIGO-Observatorien entwickelten zudem auf Basis von EtherCAT verschiedene Geräte für hochwertige Messungen und zur Datenanalyse. Durch die Multi-Protokoll-Kommunikation von EtherCAT und die Automatisierungssoftware TwinCAT 3 können alle Universitäten und Unternehmen, die weltweit an diesem riesigen Forschungsprojekt beteiligt sind, schnell auf die Messdaten zugreifen. Daniel Sigg und Richard McCarthy nutzen TwinCAT ADS als Interface zu den Visualisierungen auf den Bildschirmen im Kontrollraum des LIGO.

Durch die Integration in Microsoft Visual Studio® und die Vielfalt der verfügbaren Programmiersprachen bietet die Automatisierungssoftware TwinCAT 3

ein hohes Maß an Flexibilität bei der Programmierung: Die LIGO-Observatorien nutzen hauptsächlich die Programmierung in Strukturiertem Text (ST) für die PC-basierten Automatisierungssysteme in den Interferometer-Forschungsstationen, während andere Forschungseinrichtungen in C++ oder Python programmierten Code verwenden.

Vereinfachte Prozesssteuerung am Panel-PC

Für Überwachungsfunktionen setzt LIGO verschiedene Beckhoff Panel-PCs ein; u. a. einen CP2215 mit Multitouch-Display. Diese sind in der Vakuum-Steuerung für die Interferometer installiert und vereinfachen den Überwachungsprozess sowie die Steuerung der Pumpen und anderer Funktionen. „Die Anlage, deren Austausch mit den höchsten Kosten verbunden ist, ist das Vakuumsystem. D. h. wir müssen die verschiedenen Gebäude, die die Vakuumsysteme, die Kryo- und die Ionenpumpen beherbergen, ständig überwachen“, erläutert Richard McCarthy.

EtherCAT erlaubt Echtzeitdatenaustausch über mehrere Kilometer

Da die Arme des Interferometers sich über 4 km erstrecken, müssen die weit entfernten elektronischen Geräte mit einem störfesten Glasfasernetzwerk physikalisch verbunden werden. Dies geschieht über die EtherCAT-Koppler EK1501 mit Glasfaserkabel, die je nach Abstand zwischen den Stationen im Multimode (max. 2.000 m) oder Singlemode (max. 20.000 m) eingesetzt werden. Neben der Glasfaserverbindung übernehmen die EtherCAT-Brückenklammern EL6692 den Echtzeit-Datenaustausch zwischen den EtherCAT-I/O-Ringtopologien und verschiedenen Mastern, was im Falle von sich über mehrere Kilometer erstreckenden Interferometern eine nicht unwesentliche Herausforderung darstellt.

Das I/O-System ist häufig gefordert, die jeweiligen Verstärkereinstellungen aus der Ferne anzupassen, während es mit anderer hochpräziser Messelektronik, die speziell für das LIGO entwickelt wurde, kommunizieren muss.

TwinSAFE sorgt für sicheren Personen- und Anlagenschutz

Über TwinSAFE-Klemmen wurden an den LIGO-Standorten in Hanford und Livingston zahlreiche Personen- und Anlagenschutzmaßnahmen realisiert. Diese sind direkt mit den leistungsstarken Embedded-PCs CX5020 verbunden. Alle Hochleistungslaserstrahlen müssen zum Schutz des Personals abgeschirmt sein. Wenn Personen oder Objekte auf irgendeine Weise eine Abschirmung überwinden, sorgen TwinSAFE und eine Notabschaltung dafür, dass alle Interferometerarme gleichzeitig abgeschaltet werden. Dank TwinSAFE können Mitarbeiter der LIGO-Observatorien sogar Lasertische sicher öffnen, ohne dass hierzu ein Laser abgeschaltet werden muss.

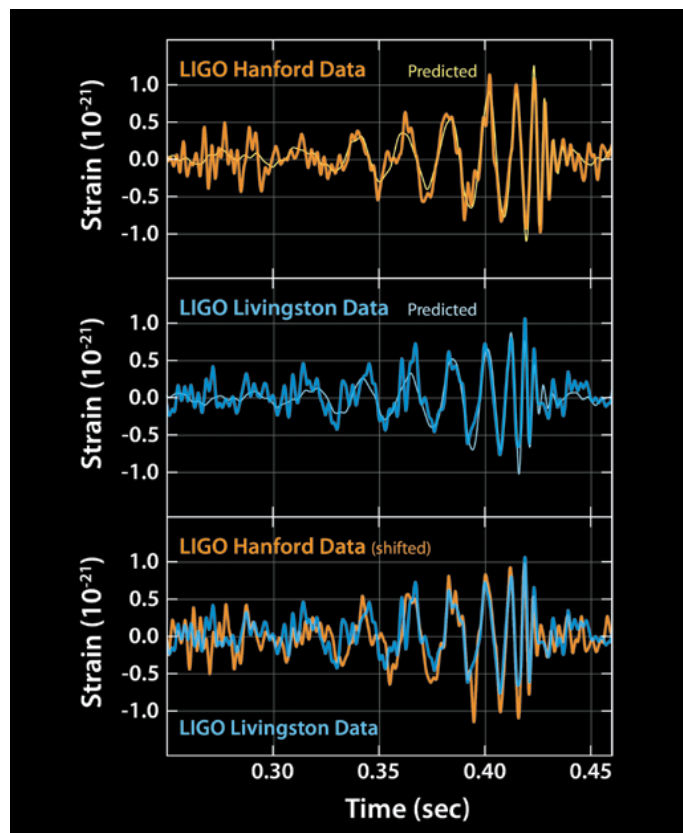
19-Zoll-Industrie-PC steuert hochpräzisen Neigungsmesser

Zur Messung der Neigung des Interferometers wird ein hochpräziser Neigungsmesser mit niedriger Frequenz (0,01 Hz) eingesetzt. Das Gerät ist dermaßen empfindlich, dass es sogar Schwankungen des Observatoriumgebäudes bei starkem Wind messen kann. Optikgeräte, die sich über den zulässigen Winkel hinaus neigen, können mit Hilfe anderer, in den Interferometern installierter Geräte, kompensiert werden. Der Neigungsmesser selbst wird von einem eingebauten 19-Zoll-Industrie-PC C5210 gesteuert. Dieser übernimmt auch die Bildanalyse des Neigungsmessers: Ausgestattet mit einem kleinen Spiegel, der einen Laserstrahl reflektiert, erkennt der Neigungsmesser minimale Schwingungen, während eine Kamera jede Veränderung aufzeichnet. Die Kamera ist mit dem EtherCAT-I/O-System synchronisiert. Die mit den Schrittmotoren verbundenen EtherCAT-Box-Module führen hochpräzise Korrekturen bezüglich der Ausrichtung des Messtisches aus.

PC-Steuerungsplattform hält Schritt mit der Entwicklung

„Bei der Einführung der PC-basierten Steuerungstechnologie in den LIGO-Observatorien wurden sowohl der Finanz- als auch der Zeitrahmen eingehalten, obschon es im Laufe der Zeit durchaus Kurskorrekturen gab“, berichtet Daniel Sigg. Während die Wissenschaftler und Ingenieure des LIGO ihre Forschungsmethoden verfeinerten und die Laborinfrastruktur errichteten, musste die PC-basierte Steuerungsplattform mit den Veränderungen Schritt halten. Das ist ihr gelungen: „Wir sorgen für eine Update-Rate von 10 ms bei mehr als 1.000 physikalischen Geräten und 10.000 Ein-/Ausgangsvariablen in der TwinCAT-Software, die von den hochleistungsfähigen PC-basierten Steuerungen verarbeitet werden“, so der Automatisierungsexperte.

Die LIGO-Observatorien planen u. a. die zahlreichen Systeme an den bestehenden Forschungsstandorten mit moderner PC- und EtherCAT-basierter Steuerungstechnik auszustatten. Diese Modernisierung zielt insbesondere auf Wetterstationen, Staubüberwachung, Steuerung von Hydraulikpumpen und vieles mehr.



Die Diagramme zeigen die Signale der von den beiden LIGO-Observatorien in Livingston, Louisiana, und Hanford, Washington, entdeckten Gravitationswellen.



Das von LIGO entwickelte Vakuumsteuerungssystem setzt auf eine PC-basierte Steuerung und EtherCAT als Kommunikationstechnologie.

weitere Infos unter:

www.ligo.caltech.edu

www.beckhoffautomation.com